

(19) Japanese Patent Office (JP)

(11) Kokai Number

(12) Publication of Unexamined Patent Application (A) HEI2-391

(51) Int. Cl. ⁵	ID Symbol	JPO File No.	(43) Date of Publication
H 01 L 39/22	ZAA D	8728-5F	Heisei 2 (1990) January 5
29/46	Z	7638-5F	
		8624-5F	
		H 01 L 29/78 311 X*	
	Request for Examination	Not Requested	Number of Claims 1 (Total 6 Pages)

(54) Title of the Invention Superconductive-electrical field effect transistor
 (21) Application No. SHO63-278629 ✓
 (22) Filing Date SHO63 (1988) November 4

Priority Application (32) November 4, 1987 (33) Japan (JP) (31) SHO62-278660

(72) Inventor Naoji Fujimori Itami Seisakujo, Sumitomo Electric Industries, Ltd.
 1-1-1, Konyo-kita, Itami, Hyogo Prefecture
 (72) Inventor Keizo Harada Itami Seisakujo, Sumitomo Electric Industries, Ltd.
 1-1-1, Konyo-kita, Itami, Hyogo Prefecture
 (72) Inventor Shuji Yazu Itami Seisakujo, Sumitomo Electric Industries, Ltd.
 1-1-1, Konyo-kita, Itami, Hyogo Prefecture
 (71) Applicant Sumitomo Electric Industries, Ltd. 5-15, Kitahama, Higashi-ku, Osaka

(74) Agent Takashi Koshiba 5-15, Kitahama, Higashi-ku, Osaka
 Continues on the final page

Specifications

1. Title of the Invention Superconductive-electrical field effect transistor

2. Claim

A superconductive-electrical field effect transistor characterized by the fact that it has a first and second electrode formed of superconductive materials that are oxide compounds on a oxide board interposed by a fixed width channel area, a semiconductor layer formed so that at least said channel area is filled, and a third electrode formed so that an electrical field can be impressed into said semiconductor layer.

3. Detailed Explanation of the Invention

Field of Utilization in Industry

This invention is a superconductive-electrical field effect transistor. In further detail, this involves a new formation with 3 terminal elements utilizing a superconductor for the electrodes.

Prior Art

The superconductive phenomena, said to be a reciprocal exchange of electrons, is a phenomena that indicates absolute reverse magnetism since the electrical resistance of the conductor is zero under specific conditions. Namely, with superconductivity, absolutely no power is lost as an electric current flows through a superconductor, and a highly dense current will continue to flow indefinitely. Therefore, if superconductivity were applied to power transmission technology, for example, the approximately 7% inevitable loss in transmitted power, said to occur when power is currently transmitted, would be significantly reduced. In addition, utilization as a magnet for generating a highly-charged magnetic field has potential in the field of power generation technology in terms of MHD power generation, motor generators, and such, and as a technology that will expediently promote actualizing a nuclear fusion reaction said to consume more power at start-up than the amount of power generated. Also, there is potential for utilization in powering trains that float on magnetic fields, magnetically propelling ships, and such, as well as in the fields of engineering and medicine with NMR, π -meson treatment, high-energy physics experimental devices, and such.

Furthermore, aside from utilization in the large-scale devices mentioned above, superconductive materials have been proposed for application in various types of terminal elements.

Representative of these is the terminal that utilizes a quantum effect that is seen macroscopically as the Josephson effect due to the impressed electrical current when superconductive materials are brought in slight contact with each other. A tunnel contact type Josephson element has a small energy gap of superconductive materials, so it has potential as an extremely fast, low power consuming switching element. Also, the Josephson effect on the magnetic waves and magnetic field appears as a true quantum phenomena, so the Josephson element has potential for utilization as a ultra-high sensitive sensor for magnetic fields, microwaves and radiation and such. Furthermore, the electrical circuits become highly concentrated while the power consumed per unit area appears to reach the limits of freezing capacity. Developments in superconductive elements have potential in ultra-high speed computers.

In the past, regardless of effort made by many scientists, the superconductive critical temperature T_c of the superconductive materials over the long-term, 23K for Nb₃Ge, could not be exceeded. In this regard, the discovery that oxide compound superconductive materials had a high T_c by Bednorz and Muller in 1986 significantly opened up the possibilities for high temperature superconduction. (Bednorz, Muller, "Z. Phys. 864, 1986, 189")

Until then, it was known that oxide compound ceramic materials exhibit superconductivity. For example, US Patent No. 3,932,315 states that Ba-Pb-Bi oxide compounds exhibit superconductivity, and the report for unexamined Patent Application No. SHO60-173,885 states that Ba-Bi oxide compounds exhibit superconductivity. The T_c of the oxide compound superconductive materials know to date, however, has been 10K or less, generally extremely low, and it was necessary to use expensive and scarce liquid helium (boiling point 4.2K) to obtain the superconductive phenomena.

The oxide compound superconduction discovered by Bednorz and Muller appears to have a composition with (La. Ba)₂CuO₄, and K₂NiF₄ crystalline structure. These oxide compound superconductive materials are similar to known [PbO] oxide compound superconductive materials and crystalline structures, but the T_c was remarkably high, at about 30K, compared to superconductive materials in the past.

In addition, in February 1987, Chu et al. discovered a Ba-T-Cu oxide compound that exhibited a critical temperature of over 90K. This oxide compound, known as YBCO, is thought to have a composition expressed as $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$.

Furthermore, this was followed by the discovery of Bi-Sr-Ca-Cu and Tl-Ba-Ca-Cu oxide compounds, which not only have a T_c of 100K or more, but are chemically stable and have little loss of superconductivity over time as do YBCO and such, consequently could potentially be getting closer to practical use.

With the discovery of these new oxide compound superconductive materials, the chance for realizing high-temperature superconduction is getting closer.

Problems that the Invention is to Solve

Currently, many electrical terminals are mainly composed of silicon and such semiconductors and metal electrodes, and LSI and such concentrated circuits are simply highly dense concentrations of these parts, with no basic difference in structure.

In contrast, the Josephson element is known as a superconductive element, but the Josephson element is a so-called 2 terminal element, and is a problem because it does not have the third terminal, which would be the control terminal, making it difficult to design the circuits.

With electrical circuits using generally Si semiconductors, however, are reaching limits in terms of power loss and operating speed, so hopes are that an element will be discovered using new superconductive materials, to be the high-temperature superconductor mentioned above.

The purpose of this invention is to solve the past technical problems mentioned above, and provide a superconductive-electrical field effect transistor with a new structure that can be utilized in electric circuits for high speed operations using a superconductor.

Means for Solving the Problems

Namely, this invention provides a superconductive-electrical field effect transistor characterized by the fact that it has a first and second electrode formed of superconductive materials that are oxide compounds on a oxide board interposed by a fixed width channel area, a semiconductor layer formed so that at least said channel area is filled, and a third electrode formed so that an electrical field can be impressed into said semiconductor layer.

Operation of the Invention

The superconductive-electrical field effect transistor utilizes the superconductive adjacent effect, and is three high-speed terminal elements through which the superconductive electrical current flows on the semiconductor. In the past, various proposals were made for this superconductive-electrical field effect transistor using metal superconductive materials like a Pb alloy and such, as effective as a 3 terminal element for high-speed operations, but they have not yet been put to practical use.

The superconductive-electrical field effect transistor of this invention has as its main characteristics formation of oxide compound superconductor electrodes on an oxide compound board, in particular, a MgO single-layer crystalline board or SrTiO₃ single-layer crystalline board, and formation of the channel between the electrodes using oxide compound superconductive materials.

With the superconductive-electrical field effect transistor of this invention, first, it is recommended that the board be a MgO single-layer crystalline board or SrTiO₃ single-layer crystalline board as the (100) coating surface. Namely, the electrical resistance of the oxide compound superconductor forming the channel of the superconductive-electrical field effect transistor of this invention is known to be crystalline anisotropy. Namely, electrical current flows easily in parallel directions on the surface that determines the a axis and b axis of the crystals. By forming a thin film of oxide compound superconductive material on the (100) surface MgO single-layer board or SrTiO₃ single-surface board, the c axis of the crystals of the oxide compound superconductive material can be arranged at a perpendicular angle or close to perpendicular angle, and as a result, the critical electrical current density J_c , in particular, is greater. In addition, MgO or SrTiO₃ are close in the rate at which they expand in heat to the oxide compound superconductor mentioned above, so there is the benefit of minimizing the mismatch during curing in the production process.

In this invention, an oxide compound superconductor that gives a high superconductive critical temperature is used for the electrodes to provide a practical superconductive-electrical field effect transistor. The oxide compound super conductor used in the oxide compound superconductive-electrical field effect transistor of this invention should preferably be oxide compounds that have a oxygen deprived [Plobscide] crystalline structure like $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$, called YBCO. They need not be limited to these, however, and it is possible to use known superconductors at one's discretion.

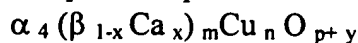
Namely, a particularly desirable oxide compound superconductive material would have a composition with the general formula: $(\alpha_{1-x} \beta_x) \tau_y O_z$ (provided, α is an element that includes the Iia group on the periodic table of elements, β is an element from the IIIa group on the periodic table of elements, τ is selected from at least one of the elements in Ib, Iib, IIib, IVa and VIII groups on the period table of elements, and x, y, and z are numbers that satisfy respectively $0.1 \leq x \leq 0.9$, $0.4 \leq y \leq 3.0$, $1 \leq z \leq 5$), and these would mainly be [Plobscide] or [Plobscide]-like oxide compounds.

In this case, specific examples of the element α of the Iia group on the periodic table of elements would be Ba, Sr, Ca, Mg and Be and such, with the preferable elements, in particular, being Ba and Sr. Furthermore, 10 to 80% of element α can be replaced by 1 type or 2 types of elements selected from Mg, Ca and Sr.

As element β mentioned above, specific examples besides Y would be La, Sc, Ce, Gd, Ho, Br, Tm, Yb, Lu and such, with the preferable elements, in particular, being La and Ho. Furthermore, 10 to 80% of element β can be replaced by 1 type of 2 types of elements selected from Sc or the lantanoide elements.

The element τ is generally Cu, but in addition, Al, Fe, Co, Ni, Zn, Ag, Ti and such can be used. Furthermore, other elements, for example Ti, V and such selected from the Ib, IIb, IIib, IVa and VIII groups can replace a portion.

In addition, other effective materials that can be applied as the superconductive material layer on the semiconductor board of this invention could include oxide compound superconductors that have a composition given in the formula:



(wherein, α is Bi or Tl,

β is Sr when α is Bi and Ba when α is Tl,

m is a number that satisfies $6 \leq m \leq 10$,

n satisfies $4 \leq n \leq 8$,

$p = 6 + m + n$,

x satisfies $0.2 < x < 0.8$,

and y satisfies $2 \leq y \leq 2$).

In addition, the semiconductor used in the superconductive-electrical field effect transistor of this invention can be selected at one's discretion depending on the purpose from any one of the Si, III to V group compound, II to VI group compounds or multiple element compound semiconductors.

The following is an explanation of the production method for the superconductive-electrical field effect transistors of this invention.

First, the oxide compound superconductor thin film that is to be the electrode is formed on the oxide compound board (100) surface mentioned above. As a method for doing this, preferably, one should use a heat/steam adhesion method or similar method to heat/steam adhesion like sputtering, ion etching, molecular beam epitaxy, CVD (chemical vapor disposition method) and such. Among these methods, the magnetron sputtering method, in particular, is preferable, and in that case, the film should be formed, preferably, with the compound board at a temperature of 700 degrees centigrade.

After forming the oxide compound superconductor thin film on the oxide board by any one of the methods mentioned above, the electrode is formed by processing this thin film. Namely, as will be mentioned in detail below, use patterning so one pair of corresponding electrodes is formed by a source electrode and drain electrode. For the patterning, it is preferable to use electron beam lithography and halogen-reaction ion exchange or sputter ion exchange with Ar. After the process mentioned above, the superconductive electrode and semiconductor layer on the oxide compound board are formed. After forming the semiconductor layer, the nonconductor, such as SiO₂ and such, is formed on the semiconductor layer by heat oxidation and such, and on this, a gate electrode is formed using Al and such.

This invention will be explained in further detail below using a working example, but the following disclosure is one working example and does not constitute the limits of the technological claim of this invention.

Working Example

Diagram 1 is a cross-section diagram giving an example of the structure of the superconductive-electrical field effect transistor of this invention.

This superconductive-electrical field effect transistor has a pair of electrodes formed on the board 4, namely, the drain electrode 1 and source electrode 3, and besides the channel area formed between these electrodes 1, 3, a semiconductor layer 5 is substantively accumulated on a portion on the electrode layer and furthermore, it has a nonconductive layer 6 as well as gate electrode 2 accumulated on this semiconductor layer 5.

With the working example, MgO single-layer crystals and SrTiO₃ single-layer crystals are used for the board, the oxide compound thin film is formed using magnetron sputtering targeting Ba₂Cu_{4.5}O_x fusion powder or HoBa_{2.3}Cu_{4.7}O_x fusion powder on the (100) surface. The sputtering was done with the board temperature at 700 degrees centigrade giving careful attention to the size of the positioning relationship of the board and target and the high frequency power. The oxide compound superconductor layer was brought up to 1000Δ.

Next, the oxide compound superconductor formed on the crystalline board mentioned above was processed to produce an electrode. Diagram 2 gives a diagram of the electrode pattern formed at this point, and shows the pattern as seen from above the board 4. The patterning forms 2 separate electrodes, the source electrode and drain electrode, using Cl₂ ion etching through a photo-resist mask. The distance between the electrodes is 2000Δ.

Furthermore, the semiconductor layer is formed so that the ends of various superconductive electrode are exposed, and the SiO₂ nonconductive layer 6 is formed by heat oxidation of the upper portion of the semiconductive layer. Then, the Al electrode is formed as the gate electrode 2 by spatter heat adhesion.

With this working example, Si, GaAs and InP are used as semiconductors. Lastly, an Ag electrode was formed by heat adhesion for wire bonding on the superconductive electrode and gate electrode as a test sample.

Chart 1 below gives the critical temperatures of the superconductive electrodes for the various test samples. In Chart 1, respectively, T_{co} is the initial temperature of the sudden reduction in electrical resistance for the test sample, and T_{ci} is the temperature when electrical resistance could no longer be measured.

Chart 1

Superconductor	Board	Semiconductor	Critical Temperature (K)	
			T_{co}	T_{ci}
Y-Ba-Cu group	MgO	Si	96	93
		GaAs	98	95
		InP	94	91
	SrTiO ₃	Si	97	93
		GaAs	95	92
		InP	93	90
Ho-Ba-Cu group	MgO	Si	94	92
		GaAs	92	90
		InP	91	88
	SrTiO ₃	Si	98	95
		GaAs	92	90
		InP	96	94

Furthermore, the superconductive-electrical field effect transistor produced as stated above was frozen in liquid nitrogen and the relationship between the drain voltage and drain current was examined when conducting. Diagram 3 is a graph giving the relationship of the drain voltage and the drain current obtained in this manner.

As shown in Diagram 3, the features of this superconductive-electrical field effect transistor are consistent with the calculated values.

In this way, the superconductive-electrical field effect transistor of this invention has superior features, and also, the superconductive critical temperature of the oxide compound superconductive materials is high, so it has potential for broad application as a new element for high-speed operations.

Effects of the Inventions

As mentioned above, the superconductive-electrical field effect transistor of this invention is an absolutely new transistor that uses an oxide compound superconductor as a superconductive electrode. Furthermore, the superconductive-electrical field effect transistor of this invention not only has a high superconductive critical temperature, but also is superior in its other features, and has potential for application as a high-speed 3 terminal element. In addition, it has epoch-making potential for advancing the high-speed operation and high density of electrical circuits.

4. Brief Explanation of the Drawings

Diagram 1 gives a cross-section of the structure of the superconductive-electrical field effect transistor of this invention,

Diagram 2 gives an example of the patterning of the source electrode and drain electrode for the superconductive-electrical field effect transistor shown in Diagram 1, and

Diagram 3 is a graph that gives the drain voltage and drain current for the superconductive-electrical field effect transistor working example.

(Main Reference Numbers)

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| 1 .. Drain electrode | 2 .. Gate electrode |
| 3 .. Source electrode | 4 .. Oxide compound board |
| 5 .. Semiconductor | 6 .. Nonconductor |

Diagram 1

第 1 図

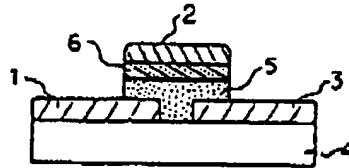


Diagram 2

第 2 図

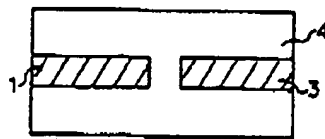
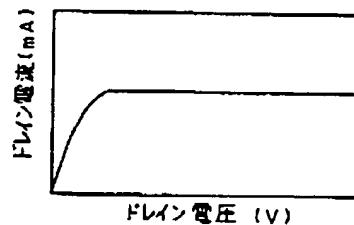


Diagram 3

第 3 図



Drain current (mA)

Drain voltage (V)

- | | |
|------------------------|----------------------------|
| 1 ... Drain electrode | 2 ... Gate electrode |
| 3 ... Source electrode | 4 ... Oxide compound board |
| 5 ... Semiconductor | 6 ... Nonconductor |

Applicant
Agent

Sumitomo Electric Industries, Ltd.
Takashi Koshiba, Attorney

-1137b-

BEST AVAILABLE COPY

Continued from Page 1

(51) Int. Cl.⁵
H 01 L 29/784

ID Symbol

JPO File No.

(72) Inventor [Tetsumor] Kamishiro Itami Seisakujo, Sumitomo Electric Industries, Ltd.
1-1-1, Konyo-kita, Itami, Hyogo Prefecture

(72) Inventor Hideo Itosaka Itami Seisakujo, Sumitomo Electric Industries, Ltd.
1-1-1, Konyo-kita, Itami, Hyogo Prefecture

⑫ 公開特許公報(A) 平2-391

⑬ Int.Cl.⁵H 01 L 39/22
29/46

識別記号

Z A A D
Z

庁内整理番号

8728-5F
7638-5F
8624-5F

⑭ 公開 平成2年(1990)1月5日

H 01 L 29/78 3 1 1 X※

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全6頁)

⑮ 発明の名称 超電導電界効果トランジスタ

⑯ 特 願 昭63-278629

⑰ 出 願 昭63(1988)11月4日

優先権主張 ⑱ 昭62(1987)11月4日 ⑲ 日本(JP) ⑳ 特願 昭62-278660

㉑ 発 明 者 藤 森 直 治 兵庫県伊丹市昆陽北1丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

㉒ 発 明 者 原 田 敬 三 兵庫県伊丹市昆陽北1丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

㉓ 発 明 者 矢 津 修 示 兵庫県伊丹市昆陽北1丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

㉔ 出 願 人 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市東区北浜5丁目15番地

㉕ 代 理 人 弁理士 越 場 隆

最終頁に続く

明 細 書

従来の技術

1. 発明の名称 超電導電界効果トランジスタ

2. 特許請求の範囲

所定の幅のチャネル領域を隔てて酸化物基板上に複合酸化物系超電導材料によって形成された第1並びに第2の電極と、少なくとも該チャネル領域を充填するように形成された半導体層と、該半導体層に電界を印加することができるように形成された第3の電極とを具備することを特徴とする超電導電界効果トランジスタ。

3. 発明の詳細な説明

産業上の利用分野

本発明は、超電導電界効果トランジスタに関する。より詳細には、電極に超電導体を使用した新規な3端子素子の構成に関する。

電子の相転移であるといわれる超電導現象は、特定の条件下で導体の電気抵抗が零の状態となり完全な反磁性を示す現象である。即ち、超電導下では、超電導体に電流を流しても電力損失が全く無く、密度の高い電流が永久に流れ続ける。従って、例えば送電技術に超電導を応用すれば、現在送電に伴って生じているといわれる約7%の不可避な送電損失を大幅に減少できる。また、高磁場発生用電磁石としての応用は、発電技術の分野ではMHD発電、電動機等と共に、起動に発電量以上の電力を消費するともいわれる核融合反応の実現を有利に促進する技術として期待されている。また磁気浮上列車、電磁気推進船舶等の動力として、更に、計測・医療の分野でもNMR、 π 中間子治療、高エネルギー物理実験装置などへの利用が期待されている。

更に、上述のような大型の装置における利用とは別に、超電導材料は各種の電子素子への応用も提案されている。代表的なものとしては、超電導

材料どうしを弱く接合した場合に印加電流によって量子効果が巨視的に現れるジョセフソン効果を利用した素子が挙げられる。トンネル接合型ジョセフソン素子は、超電導材料のエネルギーギャップが小さいことから、極めて高速な低電力消費のスイッチング素子として期待されている。また、電磁波や磁場に対するジョセフソン効果が正確な量子現象として現れることから、ジョセフソン素子を磁場、マイクロ波、放射線等の超高度センサとして利用することも期待されている。更に、電子回路の集積度が高くなるにつれて単位面積当たりの消費電力が冷却能力の限界に達するものと見られている。そこで超高速計算機には超電導素子の開発が要望されている。

従来、様々な努力にもかかわらず、超電導材料の超電導臨界温度 T_c は長期間に亘って Nb_3Ge の 23 K を越えることができなかった。これに対して、1986年に、ベドノーツおよびミュラー等によって、複合酸化物系超電導材料が高い T_c を有することが発見されるに至って、高温超電導の可能性

う値であった。

また、1987年2月に、チュー等によって90 K級の臨界温度を示す $Ba-Y-Cu$ 系の複合酸化物が発見された。この $YBCO$ と通称される複合酸化物は $Y_{1-x}Ba_xCu_2O_{7-x}$ で表される組成を有すると考えられている。

更に、続いて発見された $Bi-Sr-Ca-Cu$ 系および $Tl-Ba-Ca-Cu$ 系複合酸化物は、 T_c が 100 K 以上であるばかりでなく化学的にも安定しており、 $YBCO$ 等のような超電導特性の経時的劣化が少ないことから実用に向いているのではないかと期待されている。

これらの新しい複合酸化物系超電導材料の発見によって高温超電導体実現の機運が昨今俄かに高まっている。

発明が解決しようとする課題

ところで、現在多くの電子回路は主にシリコン等の半導体と金属電極とにより構成されており、LSI等の集積回路もこれらの部材を高密度に集

が大きく開けてきた (Bednorz, Muller, "Z. Phys. 864, 1986, 189")。

これまでも複合酸化物系のセラミック材料が超電導特性を示すということ自体は知られていた。例えば、米国特許第 3,932,315号には、 $Ba-Pb-Bi$ 系の複合酸化物が超電導特性を示すということが記載されており、また、特開昭60-173,885号公報には $Ba-Bi$ 系の複合酸化物が超電導特性を示すということが記載されている。しかし、これまでに知られていた複合酸化物超電導材料の T_c は、10 K 以下と全般的に極めて低く、超電導現象を得るには高価且つ稀少な液体ヘリウム (沸点 4.2 K) の使用が不可避であった。

ベドノーツおよびミュラー等によって発見された酸化物超電導体は、 $(La, Ba)_2CuO_4$ なる組成を有し、 K_2NiF_4 型の結晶構造を有するものと見られている。この複合酸化物系超電導材料は、従来から知られていたペロブスカイト型酸化物系超電導材料と結晶構造が類似しているが、 T_c は従来の超電導材料に比べて飛躍的に高い約 30 K とい

積しただけで基本的な構成は変わらない。

これに対して、超電導素子としてジョセフソン素子が知られているが、ジョセフソン素子は所謂 2 端子素子であり、制御端子となる第 3 端子をもたないために回路設計が難しくなるという問題がある。

しかしながら、Si に代表される半導体による電子回路では、電流損失や動作速度の点で限界に近づいており、前述のような高温で超電導体となる新規な超電導材料による素子の開発が切望されている。

そこで本発明の目的は、上記従来技術の問題点を解決し、超電導体による高速な動作を電子回路に利用することができる新規な構成の超電導電界効果トランジスタを提供することにある。

問題点を解決するための手段

即ち、本発明に従い、所定の幅のチャネル領域を隔てて酸化物基板上に複合酸化物系超電導材料によって形成された第 1 並びに第 2 の電極と、少

なくとも該チャネル領域を充填するように形成された半導体層と、該半導体層に電界を印加することができるように形成された第3の電極とを具備することを特徴とする超電導電界効果トランジスタが提供される。

作用

超電導電界効果トランジスタは、超電導近接効果を利用し、半導体中に超電導電流を流す高速3端子素子である。従来、この超電導電界効果トランジスタは、Pb合金等の金属系超電導材料を用いたものがあり、高速で動作する3端子素子として有効で種々の提案があったが、未だ実用に至っていない。また、金属系超電導体は超電導臨界温度が低いので、ランニングコストの高さ等を含めて実用的ではなかった。

本発明に係る超電導電界効果トランジスタは、酸化物基板、特にMgO単結晶基板、SrTiO₃単結晶基板上に複合酸化物超電導体電極を形成し、さらに、電極間に形成されたチャネルを複合酸化物

系超電導材料によって形成したことをその主要な特徴としている。

この本発明に係る超電導電界効果トランジスタは、まず、基板としてMgO単結晶基板またはSrTiO₃単結晶基板の(100)面を成膜面として用いることが好ましい。即ち、本発明に係る超電導電界効果トランジスタにおいてチャネルを形成する複合酸化物超電導体は、その電気抵抗に結晶異方性を有することが知られている。即ち、結晶のa軸およびb軸で決定される面に平行な方向に電流が流れ易い。そこで、MgO単結晶基板あるいはSrTiO₃単結晶基板の(100)面上に複合酸化物系超電導材料を薄膜として形成することによって、複合酸化物系超電導材料の結晶のc軸を基板成膜面に対し垂直または垂直に近い角度に配向することができ、その結果、特に臨界電流密度J_cが大きくなる。また、MgOやSrTiO₃は、熱膨脹率が上記の複合酸化物超電導体に近いので、製造工程での熱履歴により生じるミスマッチが最小限に止められることも有利である。

本発明においては、高い超電導臨界温度を示す複合酸化物超電導体を電極に用いて、実用的な超電導電界効果トランジスタとした。本発明の超電導電界効果トランジスタに用いる複合酸化物超電導体としては、YBCOと称されるY₁Ba₂Cu₃O_{7-x}で代表されるような酸素欠陥型ペロブスカイト結晶構造を有する複合酸化物が好ましい。しかしながらこれに限定されるものではなく、公知の超電導体の任意のものを使用することが可能である。

即ち、特に好ましい複合酸化物系超電導材料として、一般式： $(\alpha_{1-x}\beta_x)\gamma\text{O}_z$

(但し、 α は周期律表Ⅱa族に含まれる元素であり、 β は周期律表Ⅲa族に含まれる元素であり、 γ は周期律表Ⅰb、Ⅱb、Ⅲb、ⅣaおよびⅥ族から選択される少なくとも一つの元素であり、 x 、 y 、 z はそれぞれ $0.1 \leq x \leq 0.9$ 、 $0.4 \leq y \leq 3.0$ 、 $1 \leq z \leq 5$ を満たす数である)

で示される組成を有し、ペロブスカイト型または擬似ペロブスカイト型酸化物を主体としたものが

挙げられる。

ここで、上記周期律表Ⅱa族元素 α としては、Ba、Sr、Ca、Mg、Be等を具体的に例示することができ、更に、特に好ましい元素としてBa、Srを挙げることができ、更に、元素 α の10~80%をMg、Ca、Srから選択された1種または2種の元素で置換することもできる。

上記元素 β としては、Yの他La、Sc、Ce、Gd、Ho、Er、Tm、Yb、Lu等が具体的に例示でき、特に好ましいものとしてY、La、Ho等を挙げることができ、更に、元素 β のうち、10~80%をScまたはランタノイド元素から選択された1種または2種の元素で置換することもできる。

元素 γ は一般にCuであるが、他にAl、Fe、Co、Ni、Zn、Ag、Ti等を使用することもでき、更に、その一部を周期律表Ⅰb、Ⅱb、Ⅲb、ⅣaおよびⅥ族から選択される他の元素、例えば、Ti、V等で置換することもできる。

また、本発明に係る半導体基板の超電導材料層に適用できる他の有利な材料として、

式： $\alpha, (\beta, \dots, \text{Ca})_m \text{Cu}_n \text{O}_{p+y}$

(ここで、 α はBiまたはTlであり、

β は α がBiのときはSrであり、 α がTl

のときはBaであり、

m は $6 \leq m \leq 10$ を満たし、

n は $4 \leq n \leq 8$ を満たし、

$p = 6 + m + n$ であり、

x は $0.2 < x < 0.8$ を満たし、

y は $-2 \leq y \leq 2$ を満たす数を表す)

で表される組成の複合酸化物超電導体を挙げることができる。

また、本発明の超電導電界効果トランジスタに使用する半導体は、Si、III-V族化合物、II-VI族化合物、多元系化合物のいずれの半導体でもよく、それぞれ用途により任意に選択できる。

本発明の超電導電界効果トランジスタを作製する方法を以下に説明する。

まず、上記の酸化物基板の(100)面に電極となる複合酸化物超電導体薄膜を形成する。その方法はスパッタリング、イオンプレーティング、分子

線エビタキシー、CVD(化学的気相反応法)等の蒸着法あるいは蒸着法に類似の方法であることが好ましい。これらの方法の内では特に、マグネトロンスパッタリング法が好ましく、その場合基板温度700℃で成膜することが好ましい。

上記のいずれかの方法で、酸化物基板上に複合酸化物超電導体薄膜を形成した後、この薄膜を加工して電極を形成する。即ち、具体的に後述するように、ソース電極およびドレイン電極に対応する1対の電極を形成するようにパターンニングする。尚、パターンニングは、電子線リソグラフィとハロゲンによる反応性イオンエッチングやArによるスパッタ・イオンエッチングで行うことが好ましい。上記の加工を行った後、超電導電極および酸化物基板上に半導体層を形成する。半導体層形成後、半導体層上にSiO₂等の絶縁体を熱酸化等により形成し、その上にAl等によりゲート電極を形成する。

以下に実施例を挙げて本発明をより具体的に詳

述するが、以下の開示は本発明の一実施例に過ぎず、本発明の技術的範囲を何ら限定するものではない。

実施例

第1図は、本発明に係る超電導電界効果トランジスタの構成例を示す断面図である。

この超電導電界効果トランジスタは、基板4上に形成された1対の電極、即ちドレイン電極1およびソース電極3と、これらの電極1、3の間に形成されたチャネル領域を充填すると共に実質的に電極層の上に一部を積層された半導体層5と、更にこの半導体層5の上に積層された絶縁体層6およびゲート電極2とを備えている。

本実施例では基板としてMgO単結晶およびSrTiO₃単結晶を用い、その(100)面上にYBa₂Cu₃O_x焼結体粉末またはHoBa₂Cu₃O_x焼結体粉末をターゲットとしたマグネトロンスパッタリング法により複合酸化物薄膜を形成した。基板とターゲットの位置関係および高周波電力の大きさに特に

注意して基板温度が700℃でスパッタリングを行い、複合酸化物超電導体層を1000Åまで成長させた。

次に、上記の結晶基板上に形成された複合酸化物超電導体を電極に加工した。第2図は、ここで形成した電極のパターンを示す図であり、基板4の上方からみたパターンを示している。パターンニングは、フォトリソスト・マスクを用いCl₂イオンエッチングによりソース電極並びにドレイン電極の2個の電極を形成した。尚、これらの電極間の距離は、2000Åとした。

更に、各超電導電極の後端が露出するように半導体層を形成し、半導体層の上部を熱酸化することによってSiO₂の絶縁体層6を形成した。その後、スパッタ蒸着によりAl電極をゲート電極2として形成した。

尚、本実施例では、半導体として、Si、GaAs、InPを用いた。最後に蒸着によりワイヤボンディング用のAg電極を超電導電極およびゲート電極上に形成し試料とした。

それぞれの試料の超電導電極の臨界温度を以下の第1表に示す。尚、第1表において、 T_{co} は、試料の電気抵抗が急激に低下し始めた温度を、 T_{ci} は電気抵抗が測定できなくなった温度をそれぞれ示している。

第1表

超電導体	基板	半導体	臨界温度 (K)	
			T_{co}	T_{ci}
Y-Ba-Cu系	MgO	Si	96	93
		GaAs	98	95
		InP	94	91
	SrTiO ₃	Si	97	93
		GaAs	95	92
		InP	93	90
Ho-Ba-Cu系	MgO	Si	94	92
		GaAs	92	90
		InP	91	88
	SrTiO ₃	Si	98	95
		GaAs	92	90
		InP	96	94

更に、上述のようにして作製した超電導電界効果トランジスタを液体窒素で冷却し、導通状態でドレイン電圧とドレイン電流との関係を開いた。第3図はこのようにして得られたドレイン電圧とドレイン電流との関係を示すグラフである。

第3図に示すように、この超電導電界効果トランジスタの特性は計算値とよく一致している。

このように本発明に係る超電導電界効果トランジスタは特性的にも優れており、また、複合酸化物系超電導材料の超電導臨界温度が高いことから新規な高速動作素子として広い応用が期待される。

発明の効果

以上詳述したように、本発明の超電導電界効果トランジスタは、超電導電極に複合酸化物超電導体を用いた全く新規なものである。更に、本発明の超電導電界効果トランジスタは、超電導臨界温度が高いだけでなく他の諸特性も優れており、高速3端子素子としてその応用が期待できる。また、電子回路の高速動作化と高密度化を画期的に推進

することが期待される。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、本発明に係る超電導電界効果トランジスタの構成例を示す断面図であり、

第2図は、第1図に示した超電導電界効果トランジスタのソース電極およびドレイン電極のパターニング例を示す図であり、

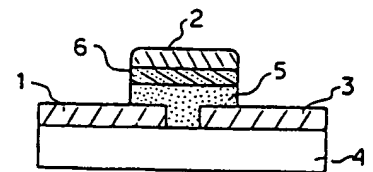
第3図は、実施例の超電導電界効果トランジスタのドレイン電圧とドレイン電流との関係を示すグラフである。

〔主な参照番号〕

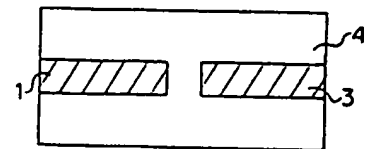
- | | |
|-------------|------------|
| 1・・・ドレイン電極、 | 2・・・ゲート電極、 |
| 3・・・ソース電極、 | 4・・・酸化物基板、 |
| 5・・・半導体、 | 6・・・絶縁体、 |

特許出願人 住友電気工業株式会社
代理人 弁理士 越 場 隆

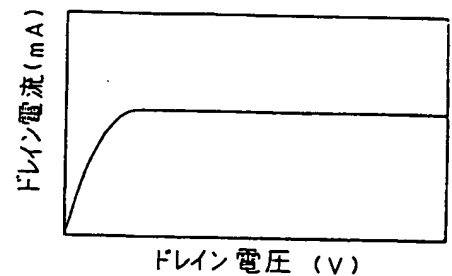
第1図



第2図



第3図



- | | |
|------------|-----------|
| 1・・・ドレイン電極 | 2・・・ゲート電極 |
| 3・・・ソース電極 | 4・・・酸化物基板 |
| 5・・・半導体 | 6・・・絶縁体 |

第1頁の続き

⑤Int.Cl.⁵

H 01 L 29/784

識別記号

庁内整理番号

⑦発明者 上代

哲 司

兵庫県伊丹市昆陽北1丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

⑦発明者 糸崎

秀 夫

兵庫県伊丹市昆陽北1丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.